

## UIT を施した面外ガセット溶接継手の疲労強度に対する 施工時応力レベルと応力比の影響

法政大学大学院 学生会員 宇佐美 龍一  
法政大学 正会員 森 猛

### 1. はじめに

一般に、鋼素材の疲労強度はその静的強度に比例して高くなるとされている。しかし、疲労に対して弱点とされる溶接継手の疲労強度は静的強度レベルの影響を受けないとされている。そのため、構造物の軽量化のために高強度鋼を有効に利用するためには、溶接継手部の疲労強度を改善する必要がある。疲労強度向上技術は、グラインダ仕上げなどで疲労破壊の起点となる溶接止端の形状を滑らかにして応力集中係数を軽減する方法と、低変態温度溶接材料などを利用することにより溶接止端部に圧縮残留応力を付加する方法に大別される。最近、注目を集めている疲労強度改善技術として、UIT(Ultrasonic Impact Treatment)がある。これは、超音波振動を利用して直径3~5mm程度のピン(図1参照)で溶接止端を打撃する方法であり、これにより止端形状が改善されるだけでなく、打撃による塑性変形により圧縮残留応力が止端部に導入される。このUITによる高い疲労強度改善効果はいくつかの実験的研究により確かめられているが、それらは無負荷の状態で行ったUIT処置を行い、下限応力をほぼ0とした条件で疲労試験が行われている。実際の構造物では、死荷重の影響で下限応力が高い状態で繰り返し応力を受ける溶接継手部も少なくなく、そのような状態でのUITの効果は確認されていない。また、既設構造物へのUITの適用を考えた場合には、応力が存在する場でのUITによる疲労強度改善効果を明らかにする必要がある。

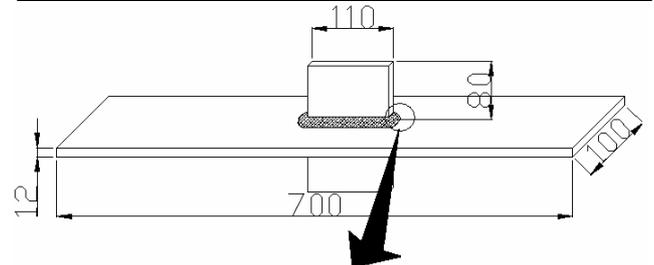


図1 ピン(φ=3mm)

本研究では、溶接継手の中でも特に疲労強度が低いとされている面外ガセット溶接継手を対象として、UIT処置時の応力レベルを変え、また応力比を変えた疲労試験を行い、UITの疲労強度改善効果について検討する。

### 2. 疲労試験

供試鋼材は、橋梁用高性能鋼 BHS500 である。試験体は、図2に示す形状・寸法の面外ガセット溶接継手であり、CO<sub>2</sub>法により、すみ肉あるいは完全溶け込みで溶接されている。図にはUITを行う前と後の溶接部の外観も示している。溶接止端の曲率半径は、UIT前(溶接のまま、AW)で0.7mm、UIT後(UIT)で2.1mm程度であった。疲労試験は、動的能力500kNの電気油圧サーボ式材料試験装置を用いて、軸引張荷重下で行った。なお、いずれの試験においても応力範囲は172N/mm<sup>2</sup>としている。試験体と試験条件の一覧を表1に示す。応力比Rとは、繰り返し応力 $\sigma$ の下限応力 $\sigma_{min}$ と上限応力 $\sigma_{max}$ の比であり、例えばR=0.51では $\sigma_{min}=180$ 、 $\sigma_{max}=352$ N/mm<sup>2</sup>となる。各試験体・各試験条件の疲労試験より得られた疲労寿命を図3に示す。図中の矢印は300万回の応力繰り返し



AW UIT

図2 試験体と溶接形状

表1 試験体と試験条件の名称

試験体	応力比R=0.05	応力比R=0.51
AW	AWR0,GAWR0	AWR0.5,GAWR0.5
UIT(無負荷:n)	UITR0n,GUITR0n	UITR0.5n,GUITR0.5n
UIT(σ <sub>min</sub> :m)		UITR0.5m,GUITR0.5m
UIT(σ <sub>max</sub> :x)	UITR0x,GUITR0x	UITR0.5x,GUITR0.5x

キーワード 疲労強度改善, 圧縮残留応力, UIT, 応力比, 応力レベル

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学 TEL 042-387-6287

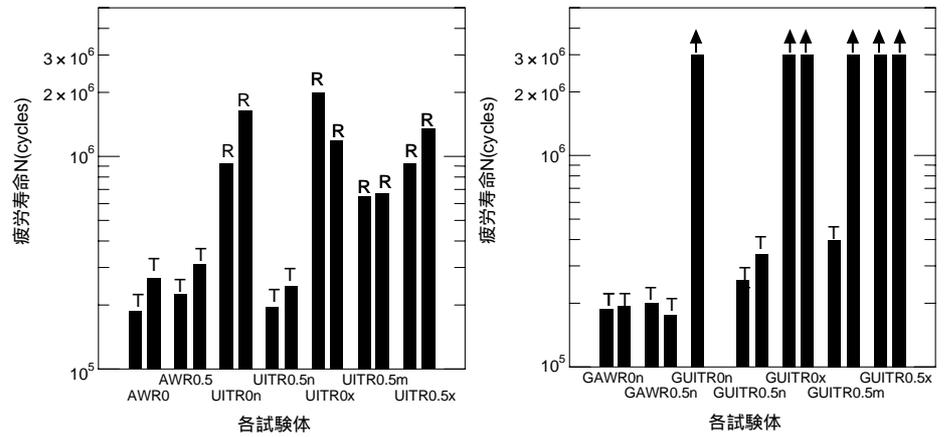
しによっても疲労破壊が生じなかったことを、R はルートが疲労破壊起点となったこと、T は止端が破壊起点となったことを示している。図 4 は代表的な疲労破面を示したものである。以上の結果より以下のことが言える。(1)AW 試験体では、溶接方法によらず、応力比の影響は認められない。これは AW では溶接止端に高い引張残留応力が存在するためと考えられる。(2)すみ肉溶接を行った UIT 試験体の多くはルート破壊した。これは止端の疲労強度が改善され、相対的にルート破壊する場合の疲労強度が低くなったためと考えられる。この場合、疲労強度に対する応力比と UIT 処理応力レベルの影響は生じない。(3)無負荷で UIT を施した試験体が高い応力比の繰り返し応力を受ける場合には、溶接方法によらず UIT の効果は希薄である。(4)完全溶け込みの試験体では、(3)の場合を除き高い疲労強度改善効果が得られる。

### 3. 応力解析

UIT による止端形状改善による疲労強度改善効果を明らかにする目的で、ソリッド要素を用いた 3 次元弾性有限要素応力解析を行った。その際、鋼材のヤング率は  $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、ポアソン比は 0.3、溶接止端近傍の要素寸法は 0.1mm 程度としている。図 5 に要素分割例と主応力のコンター図を示す。UIT による止端部の形状改善による応力集中係数の軽減は 50% 程度であり、疲労強度が応力集中係数に比例するとすれば、疲労寿命は 3 倍となる。これは疲労試験結果と異なる。その原因としては、UIT による細かな凹凸を FEM で考慮できなかったことにあるとも考えられるが、その詳細は不明である。

### 4. まとめ

- (1)新設建造物の製作段階で UIT を施す場合の疲労強度改善効果は期待できない場合がある。
- (2)既設建造物については UIT による顕著な疲労強度改善効果を期待できる。
- (3)UIT による止端部形状改良による疲労強度改善効果は、圧縮残留応力の効果に比べて希薄である。



A) すみ肉溶接

B) 完全溶け込み溶接

図 3 疲労試験結果



止端破壊

ルート破壊

図 4 破断面

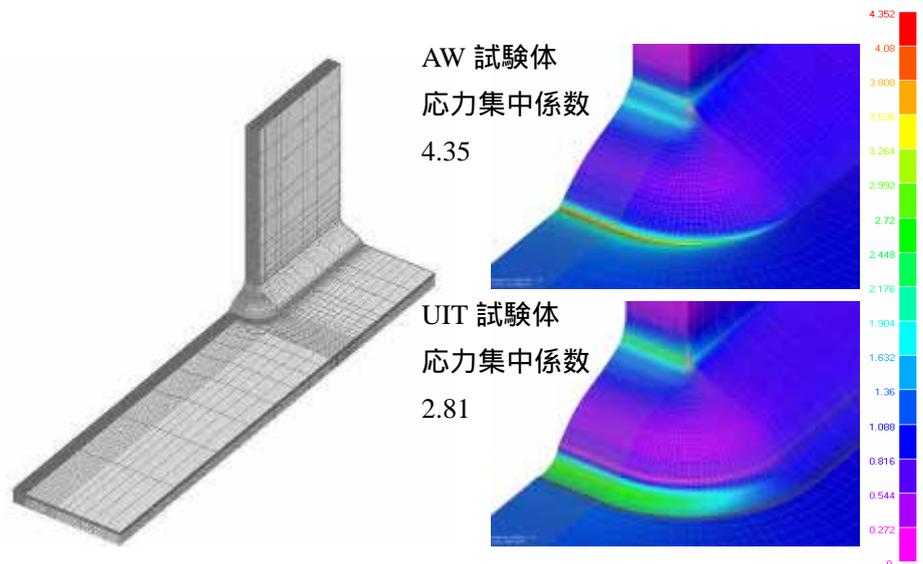


図 5 解析モデルと主応力コンター図